

**Die 24-Stunden-Rhythmik
der Gleichgewichtsregulation**

Roberte Wiegand

—
1961

Aus der I. Frauenklinik der Universität München
Direktor: Professor Dr. W. Bickenbach

DIE 24-STUNDEN-RHYTHMIK
DER GLEICHGEWICHTSREGULATION

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Roberte Wiegand
aus
Berlin-Dahlem

München 1961

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Professor Dr. G. Döring
Mitberichterstatter: Professor Dr. W. Bickenbach
Dekan: Professor Dr. W. Seitz

Tag der mündlichen Prüfung: 7.11.1961



Meiner Großmutter
und
meinen Eltern
in Dankbarkeit gewidmet



Digitized by the Internet Archive
in 2026

INHALTSÜBERSICHT

	Seite
<u>A. Einführung</u>	1
I. Über den 24-Stunden-Rhythmus	1
II. Über die Gleichgewichtsregulation	3
<u>B. Hauptteil</u>	5
I. Zum Problem	5
II. Methodik	5
a) Beschreibung der verwendeten Apparatur, der Versuchspersonen und des Versuchsablaufs	5
b) Beschreibung der Auswertung der erhaltenen Kurven	6
III. Ergebnisse	8
IV. Diskussion	16
<u>C. Zusammenfassung</u>	17
Literaturverzeichnis	18
Nachwort	20
Lebenslauf	21

Die 24-Stunden-Rhythmik der Gleichgewichtsregulation

A. EINFÜHRUNG

I. Über den 24-Stunden-Rhythmus

Die moderne Forschung beschäftigt sich seit Jahren eingehend mit der Physiologie und Pathologie des 24-Stunden-Rhythmus des Menschen.

"Von Rhythmus reden wir, wenn ein in stetigem Flusse sich befindendes gegliedertes Geschehen vorliegt". Diese Definition des Begriffes Rhythmus gab WACHOLDER (1) in seinem Vortrag auf der 4. Konferenz der internationalen Gesellschaft für biologische Rhythmusforschung 1955. KLAGES (2) sagt "Wiederkehr von Ähnlichem in ähnlichen Zeitabschnitten".

Viele Körperfunktionen des Menschen zeigen eine periodische Wiederkehr von Ähnlichem in ähnlichen Zeitabschnitten. Die Kenntnis dieser rhythmischen Lebensvorgänge des Menschen ist für den Arzt von großer Bedeutung im Hinblick auf Diagnostik und Therapie. JORES (3) sieht in Störungen dieser Rhythmik durch Änderung der natürlichen Lebensgewohnheiten eine häufige Mitursache schwerer Erkrankungen besonders des Kreislaufs und Stoffwechsels.

1935 gab ARTHUR JORES (3) eine ausführliche Darstellung aller bis dahin bekannten tagesperiodisch schwankenden Lebensvorgänge des Menschen. Er unterscheidet zwischen "echten" und "gekoppelten" 24-Stunden-Rhythmen. Unter echten Rhythmen versteht er die von Ruhe, Bewegung, Nahrungsaufnahme und Schlaf unabhängigen. Sie lassen also nur eine Bindung an die Tageszeit erkennen. Keiner der Rhythmen ist völlig unabhängig. Alle Faktoren, die einem 24-Stunden-Rhythmus unterliegen, sind vegetativ gesteuert und sprechen so auf mannigfache Einflüsse der Umwelt an.

Unter gekoppelten Rhythmen versteht er Änderungen bestimmter Körperfunktionen, die an den Schlaf-Wach-Rhythmus gebunden sind, d.h. als unmittelbare Folge des Schlafes auftreten. So sinkt der pH-Wert des Blutes auch während des Tagesschlafes, der Hämatokritwert sinkt, die Erregbarkeit des Atemzentrums ist herabgesetzt. Diese Umstellungen werden beim Wachen vermißt.

Als echte Rhythmen führt JORES beispielsweise die 24-stündigen Schwankun-

gen der Pulszahl, des Blutdrucks, der Kapillarweite und des Augendruckes an. Sie erreichen ihr Maximum um 18 Uhr, das unabhängig vom Schlaf bis zu einem Minimum um 4 Uhr absinkt. Der Schlaf hat zwar durch die mit ihm eintretende vegetative Umstellung verstärkenden Einfluß, ist aber nicht die Ursache.

Der rhythmische Verlauf der Körpertemperatur des Menschen ist am längsten bekannt (JÜRGENSEN, LIEBERMEISTER) (4, 5). Er kann stark durch die Lebensweise beeinflußt und verändert werden. Ihren Grundtyp mit einem Maximum zwischen 17 Uhr und 20 Uhr und einem Minimum zwischen 2 Uhr und 6 Uhr behält sie aber bei, und dieser bleibt auch bei Umkehr der Lebensweise bestehen, wie Versuche an einem Nachtarbeiter zeigen (F. G. Benedict und Snell zitiert nach JORES, A. (3)). Kohlensäureabgabe, Sauerstoffverbrauch, Wechsel der Formbestandteile des Blutes, Wasserausscheidung, Ausscheidung fester Substanzen im Harn, Änderung der Liquorbestandteile, Magen-Darm-Tätigkeit, Leberrhythmus, Tätigkeit der Nebenniere und Hypophyse, alle diese Funktionen sind auf ihren rhythmischen Wechsel untersucht worden (weitere Literatur bei VÖLKER und FORSGREN) (6 u. 7) und zeigen eine mehr oder weniger ausgeprägte 24-Stunden-Periodik; ebenso spätere Untersuchungen der Capillarresistenz (DÖRING-RIECKE) (8) und der Pupillenweite (DÖRING-SCHAEFERS) (9).

Die Frage nach der Ursache der Periodik im Lebensgeschehen gehört zu den Grundfragen des Lebens überhaupt. Zu ihrer Erforschung sind zahlreiche Untersuchungen und Erörterungen angestellt worden. Aber sie ist bis heute unbekannt geblieben.

Bei den von JORES beschriebenen Funktionen mit 24-Stunden-Rhythmus ist eine Abhängigkeit vom Tonus im vegetativen Nervensystem bekannt. Tagsüber überwiegt der Tonus im ergotropen sympathischen System, nachts im trophotropen parasympathischen System (siehe W. R. HESS u. L. R. MÜLLER) (10 u. 11). Man nimmt heute an, daß der erhöhte Sympathikotonus während des Tages und der erhöhte Parasympathikotonus während der Nacht die Ursache der 24-Stunden-Rhythmik sei (HOFF) (12). (Weitere Literatur siehe ASCHOFF, MENZEL, DE RUDDER, WACHSMUT) (13, 14 u. 15, 16, 17).

Als ein besonders geeignetes Organ zum Nachweis einer 24-Stunden-Rhythmik abhängig vom vegetativen Nervensystem untersuchten DÖRING u. SCHAEFERS (9) die Iris und fanden, daß die Schwankungen der Pupillenweite beim Menschen sich zwanglos in die 24-Stunden-Rhythmik mit ihrem Maximum zwischen 1 Uhr und 5 Uhr und ihrem Minimum zwischen 15 Uhr und 20 Uhr einfügen.

II. Über die Gleichgewichtsregulation

Unter Gleichgewichtsregulation verstehen wir die Aufrechterhaltung und Wiederherstellung normaler Körper- und Kopfhaltung. Sie wird durch Reflexe gesteuert, die ihren Ausgangsort im Wurzelgebiet des Nervus vestibularis im häutigen Labyrinth des Innenohrs, dem sog. Vestibularapparat haben und deren Erfolgsgebiete die äußeren Augenmuskeln und die gesamte Skelettmuskulatur sind.

Im Vestibularapparat finden wir zwei verschieden gebaute Systeme zur Wahrnehmung von Körper- und Kopfhaltungsveränderungen. Die mit Endolymphe gefüllten Bogengänge reagieren in der Hauptsache auf Drehbewegungen, die Makulaorgane mehr bei Linearbeschleunigungen in der Richtung der Körperachse. Beide zusammen bilden aber eine funktionelle Einheit. Sie vermittelt, verbunden mit dem extrapyramidalen System eine tonische Dauerinnervation der Skelettmuskeln und auch der Augenmuskeln, die "tonischen Labyrinthreflexe" (REIN) (18).

Eng verbunden mit dem Mechanismus der Gleichgewichtsregulation ist das vegetative Nervensystem. So treten als Folge einer Rotation nicht nur Änderungen in der Tonusverteilung der Muskulatur auf, sondern auch reflektorische Reaktionen von seiten des vegetativen Nervensystems, wie Blutdruck- und Herzfrequenzänderungen, Verschiebungen im weißen Blutbild und im Elektrolytgehalt des Blutes (REIN) (18). Es ist deshalb die Rotation auch als Funktionsprüfung des vegetativen Nervensystems ausgebaut worden (MIES) (19).

So übt der Mechanismus der Gleichgewichtsregulation auf die verschiedenen Körperfunktionen einen Einfluß aus und wird ebenso von ihnen beeinflußt und bildet so ein fein reagierendes Sinnesorgan. (ausführlich siehe darüber bei REIN, GOTTSCHICK und im HANDBUCH DER NORMALEN UND PATHOLOGISCHEN PHYSIOLOGIE) (18, 20 und 21).

Untersuchungen über Veränderungen der Gleichgewichtsregulation im Verlauf anderer Körperfunktionen finden wir in der Gynäkologie. So untersuchten SMITH-FEARING (22), SCHAARE (23) und STAIGER (24) die Veränderungen der Gleichgewichtsregulation im Verlauf des weiblichen Zyklus.

SMITH-FEARING fand bei 7 von 9 Zyklen einer Versuchsperson Veränderungen der Schwankungen des Körpers im Stehen, die einen zyklischen Verlauf zeigten. Eine Zunahme der Schwankungen beobachtete er zu Beginn der Menstruation, eine weitere Zunahme vor Beginn der zweiten Zykluswoche

bis zu einem steilen Abfall vor Einsetzen der nächsten Menstruation,

SCHAARE untersuchte die Lageempfindung im Raum mit Hilfe des Garten-schen Neigungsstuhls, konnte aber trotz reichen Untersuchungsmaterials keine typische Wellenbewegung feststellen, was zum Teil dadurch bedingt sein mag, daß bei diesen Versuchen ein beträchtliches Konzentrationsvermögen und damit eine aktive Leistung von der Versuchsperson gefordert wurde.

STAIGER gab an Hand von 15 regelrechten Menstruationszyklen von 8 Versuchspersonen eine Darstellung der Reaktionsgeschwindigkeit in bezug auf die Gleichgewichtsregulation im Stehen. Bei der Auswertung der erhaltenen Kurven zeigten nur die Meßwerte für die in der Zeiteinheit zurückgelegte Wegstrecke ein vom Zyklus abhängendes charakteristisches Ergebnis, ein Maximum am 1. und 2. Menstruationstag gegenüber einem Minimum am 3. und 4. Tag vor dem Temperatursprung.

B. HAUPTTEIL

I. Zum Problem

Für uns ist es nun sehr interessant, daß die Zunahme der Schwankungen bei den Versuchen von SMITH-FEARING und das Maximum der in der Zeiteinheit zurückgelegten Wegstrecke bei den Versuchen von STAIGER gerade in die Zeit des erhöhten Parasympathikotonus im menstruellen Zyklus, also kurz vor und zu Beginn der Menstruation fallen, da dies auf einen Einfluß des vegetativen Systems auf die Regulation des Körpergleichgewichtes schließen läßt.

Uns drängt sich so die Frage auf, wie weit sich eine 24-Stunden-Rhythmik der Veränderungen der Gleichgewichtsregulation und somit eine Abhängigkeit vom vegetativen System feststellen läßt; besonders, da in der Literatur Ergebnisse derartiger Versuche nicht gefunden werden konnten.

II. Methodik

a) Beschreibung der verwendeten Apparatur, der Versuchspersonen und des Versuchsablaufs:

Betrachten wir einen Menschen, der barfuß, mit geschlossenen Augen, in gelöster Haltung vor uns steht, von allen Seiten, so bemerken wir, daß er ununterbrochen leicht schwankt. Die größten Schwankungen beobachten wir in der anterior-posterioren Richtung. Der Körper selbst bleibt gestreckt, allein die Fußgelenke scheinen an dieser unwillkürlichen Bewegung beteiligt zu sein. Wir betrachten so einen Teil des komplizierten Mechanismus der Gleichgewichtsregulation.

Um Veränderungen hierbei zu erfassen, bedienen wir uns eines von HANS EBERLE konstruierten Apparates, der sich auf einer Steinplatte in Tischhöhe befindet. Die Versuchsperson steht barfuß in gelöster Haltung davor. Ihre Augen sind mit einem dunklen Tuch verbunden, um den Lichtreiz auszuschalten. Sie ist mittels eines Stirnreifs und eines an ihn angeschlossenen Metallstabs mit einer Schreibfeder verbunden, die ihre Schwankungen in der Sagittalebene in einem bestimmten Verhältnis auf einen gleichmäßig über eine Rolle laufenden Streifen Millimeterpapier aufzeichnet.

Als Versuchspersonen stellten sich 19 gesunde Studentinnen und Studenten zur Verfügung. Um nach Möglichkeit gleiche Versuchsbedingungen zu er-

halten, nahmen sie während der Versuchstage weder Koffein noch Nikotin oder Alkohol, auch keine Medikamente zu sich. Vor jedem Versuch ruhten sie 15 Minuten in einem bequemen Stuhl. Die Versuche erstreckten sich bei jeder Versuchsperson über zweimal 24 Stunden. Alle drei Stunden wurde eine Messung über acht Minuten vorgenommen, um durch Mittelwertsbildung die Fehlerquote möglichst klein zu gestalten.

b) Beschreibung der Auswertung der erhaltenen Kurven:

Bei der Auswertung wurden einmal die Umschlagspunkte, das sind die Punkte, an denen die Neigung des Körpers zur entgegengesetzten Seite beginnt, ausgezählt und zum zweiten die Kurvenlänge ausgemessen.

Bei der Auszählung der Umschlagspunkte zählten wir erstens alle Umschlagspunkte, ohne die Amplitudengröße der einzelnen Schwankungen zu berücksichtigen und zweitens gesondert die Umschlagspunkte, deren Amplitude unter 1 mm Höhe lag, die sog. "kleinen Zacken", um so auch qualitativ ein Bild über die Reaktionsgeschwindigkeit der Regulation des Körpergleichgewichts zu bekommen. Durch Mittelwertsbildung wurde die Anzahl der Umschläge in der Minute errechnet. Der jeweilige mittlere Fehler schwankte zwischen 0,5 und 0,9 Umschlagspunkte pro Minute.

Wie zählten auch die Umschlagspunkte gesondert aus, deren Amplitude über 1 mm Höhe liegt; da diese aber keinen verwertbaren Kurvenverlauf zeigten, im Gegensatz zu den anderen Größen, wurden sie hier unberücksichtigt gelassen.

Die Kurvenlänge wurde mit dem Linearplanimeter in mm ausgemessen. Durch Mittelwertsbildung wurde die Länge in mm pro Minute berechnet.

Da die Kurven der einzelnen Versuchspersonen recht individuell gestaltet waren und besonders in ihren Proportionen stark voneinander abwichen, ließen sich ihre Werte schlecht miteinander vergleichen. Wir berechneten daher bei den einzelnen Kurvenwerten den Mittelwert, setzten ihn jeweils gleich 100, brachten alle Werte dazu in gleiche Beziehung und erhielten so gut miteinander vergleichbare Werte.

Die Errechnung des mittleren Fehlers der Mittelwerte erfolgte nach der nebenstehenden Formel:

$$s_m = \pm \sqrt{\frac{\sum d^2}{n(n-1)}}$$

wobei d die Differenz der Einzelmessungen vom Mittelwert und n die An-

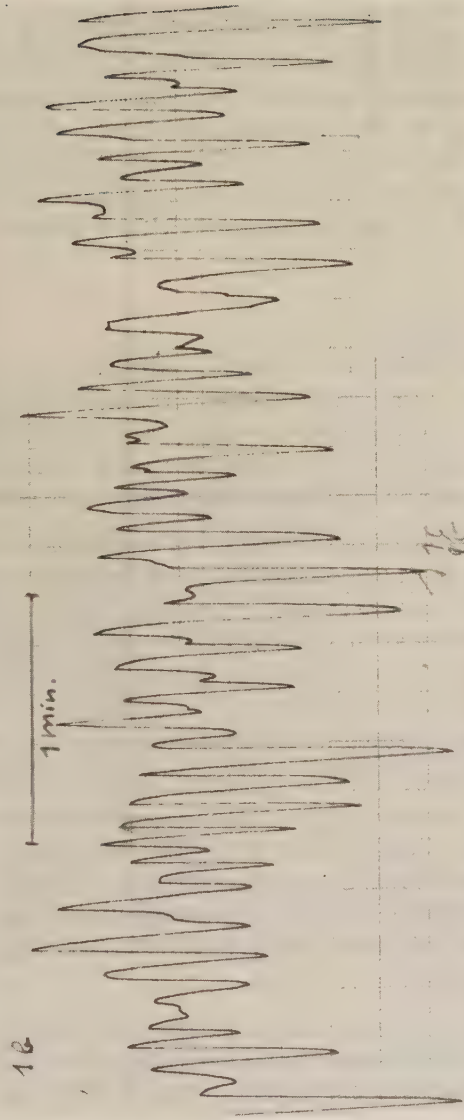
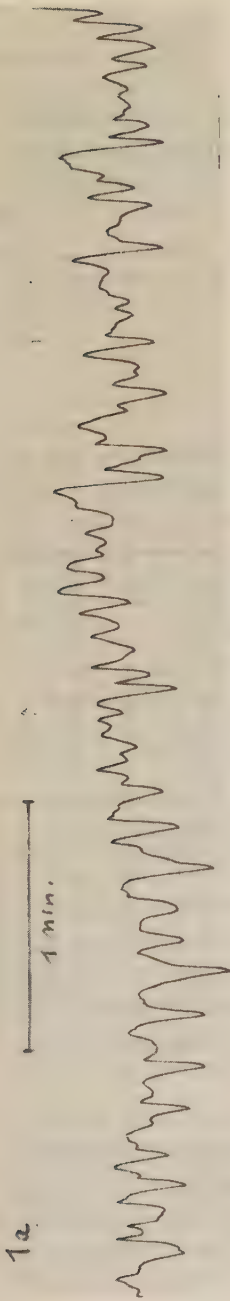


Abb. 1: Veränderungen der Gleichgewichtsregulation innerhalb von 24 Stunden bei der gleichen Versuchsperson.
1a. Ausschnitt aus einer Kurve bei 13⁰⁰. 1b. Ausschnitt aus einer Kurve bei 1⁰⁰.

zahl der zur Bildung des Mittelwertes vorhandenen Glieder bedeutet.

Um zu prüfen, ob die Differenz sowohl der mittleren Anzahl der Umschlagspunkte pro Minute als auch der mittleren Länge pro Minute im Minimum von der im Maximum statistisch zu sichern ist, wurde mit Hilfe des Fischerschen t -Testes (siehe Patau) (25) die Größe P bestimmt, d. h. die Wahrscheinlichkeit, daß bei Identität des wahren Mittelwertes beider Kollektive zufällig eine mindestens so groß wie die beobachtete Differenz auftritt. Je kleiner P , um so besser kann die Differenz als echt angesehen werden. Nach Übereinkunft gilt bei $P \leq 0,0027$ eine Differenz als gut gesichert.

III. Ergebnisse

Betrachten wir nun die erhaltenen Kurven, so fällt uns vor allem eine Häufung der sogenannten kleinen Zacken unter 1 mm Amplitudenhöhe bei den am Tage entstandenen Messungen auf, auch erscheinen die Ausschläge auf den Tageskurven im Vergleich zur Nacht im allgemeinen kürzer und unregelmäßiger, die Umschlagpunkte vermehrt. Abbildung 1 (Seite 7) zeigt einen Ausschnitt aus einer solchen Kurve, Abb. 1a bei 13 Uhr, Abb. 1b bei 1 Uhr.

Stellen wir die Ergebnisse der Auszählung der Umschlagpunkte der einzelnen Versuchspersonen und der Messung der dazugehörigen Kurvenlänge in einem Koordinatensystem in Abhängigkeit von der Tageszeit graphisch dar (Abb. 2 Seite 9), so erkennen wir deutlich ein gehäuftes Auftreten der Umschlagpunkte während des Tages mit einem Maximum bei 13 Uhr und 16 Uhr, während das Minimum der Umschlagpunkte in der Nacht zwischen 22 Uhr und 4 Uhr liegt. Die Kurvenlänge verhält sich fast spiegelbildlich dazu.

Von unseren 19 Versuchspersonen zeigten 13 ein in diesem Sinne recht ähnliches Verhalten, während bei den übrigen die Unterschiede zwischen Tag und Nacht nicht so deutlich hervortraten. Dies könnte auf eine Verschiedenheit im persönlichen Lebens- und Arbeitsrhythmus zurückgeführt werden; mit Sicherheit spielt aber auch die Streßwirkung der Schlafunterbrechung zu ungewohnter Zeit eine große Rolle.

Die aus den Meßwerten der einzelnen Versuchspersonen errechneten Mittelwerte zeigen graphisch dargestellt (Abb. 3 Seite 9) die Unterschiede im Verhalten zwischen Tag und Nacht sehr deutlich ausgeprägt und ein fast spiegelbildliches Verhalten der Längenwertskurve zu den Kurven der Umschlagpunkte, sowohl der gesamten Umschlagpunkte als auch der kleinen Zacken.

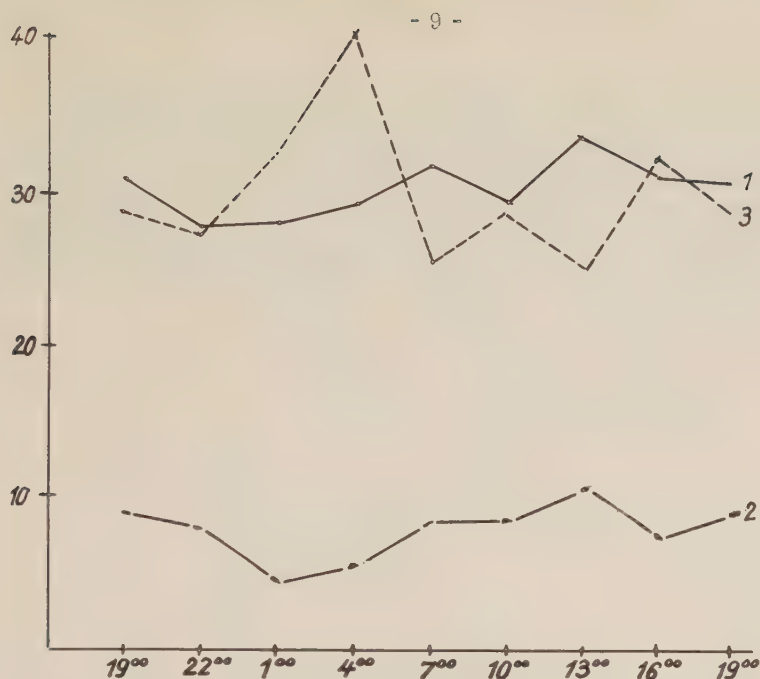


Abb. 2: Graphische Darstellung der Gleichgewichtsregulation einer Versuchsperson im Verlauf von 24 Stunden.

- 1 ausgezählte Umschlagspunkte pro Minute
- 2 kleine Zacken pro Minute
- 3 Kurvenlänge in mm pro Minute

Um zu prüfen, wie weit die Kurven verschiedener Versuchspersonen trotz ihrer individuellen Abweichungen eine statistisch gesicherte Übereinstimmung mit der Kurve der Mittelwerte aus den Werten aller Versuchspersonen während einer Tageszeit zeigt, wurde ihr dazugehöriger mittlerer Fehler bestimmt und graphisch dargestellt (Abb. 4a, 4b, 4c). Dabei darf man nach der Größe der mittleren Fehler die Differenz der Werte im Maximum von denen im Minimum, hier also den Unterschied zwischen Tag und Nacht, als echt ansehen.

Um zu prüfen, ob sich diese Differenz statistisch sichern läßt, wurden aus sämtlichen Tagesperioden die um 1 Uhr und 4 Uhr gewonnenen Werte sowie die um 19 Uhr und 22 Uhr bzw. 7 Uhr und 10 Uhr gemessenen Werte zu Kollektiven zusammengefaßt. Für diese Kollektive ergeben sich folgende Mittelwerte: Bei den Umschlagspunkten pro Minute steht ein Minimum von $97,0 \pm 1,034\%$ einem Maximum von $101,7 \pm 0,79\%$ gegenüber. Bei den

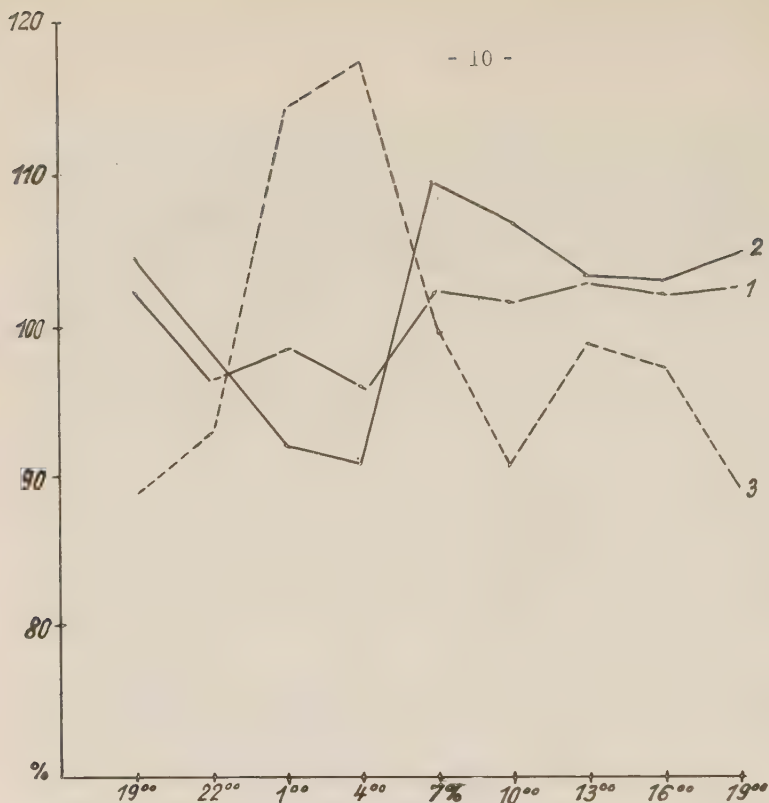


Abb. 3: Veränderungen der Gleichgewichtsregulation in Abhängigkeit von der Tageszeit.

Kurve der Mittelwerte von 19 Personen

1 Umschlagspunkte pro Min.

2 kleine Zacken pro Min.

3 Weglänge pro Minute

kleinen Zacken pro Minute steht ein Minimum von $91,2 \pm 2,2\%$ einem Maximum von $107,9 \pm 4,15\%$ gegenüber. Bei der Weglänge in mm pro Minute steht ein Maximum von $115,7 \pm 2,74\%$ gegenüber einem Minimum von $91,0 \pm 2,74\%$.

Bei statistischer Behandlung nach dem Fischerschen t -Test erweist sich jeweils die Differenz der beiden Mittelwerte als gut gesichert:

Wir finden bei den Umschlagspunkten pro Minute $P = 0,0027$, bei den kleinen Zacken $P = 0,0005$ und bei der Weglänge in mm pro Minute $P \leq 0,0002$.

Das spiegelbildliche Verhalten der Kurve der Längenwerte zu den Kurven der Umschlagspunkte läßt ein konstantes Verhältnis der beiden Größen; Anzahl der

Umschlagspunkte pro Minute und Weglänge pro Minute zueinander vermuten. Versuchsweise bilden wir das Produkt aus beiden Größen gleicher Tageszeit und erhalten annähernd den gleichen Wert; wie aus Tabelle 5 hervorgeht. Ihr Mittelwert ist ca. 10 000 und der dazugehörige mittlere Fehler ist verhältnismäßig gering. Ob $L \cdot x \cdot U$ als Konstante angesehen werden kann, müßten weitere Versuche zeigen.

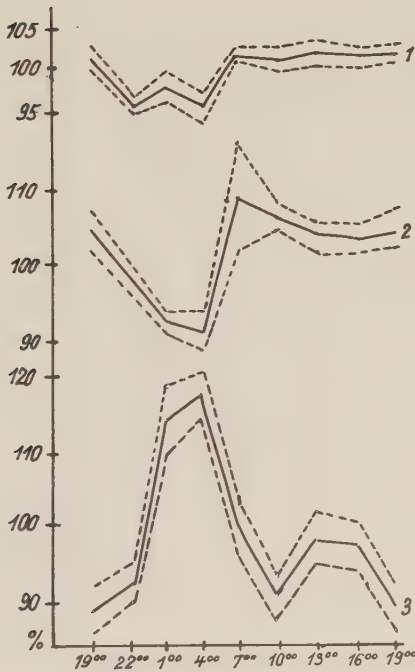


Abb. 4: Veränderungen der Gleichgewichtsregulation in Abhängigkeit von der Tageszeit. Kurve der Mittelwerte von 19 Personen mit den dazugehörigen mittleren Fehlern.

- 1 Umschlagspunkte pro Minute
- 2 kleine Zacken pro Minute
- 3 Weglänge pro Minute

	19 ⁰⁰	22 ⁰⁰	1 ⁰⁰	4 ⁰⁰	7 ⁰⁰	10 ⁰⁰	13 ⁰⁰	16 ⁰⁰	M
I	38,0	37,5	37,5	38,6	36,8	40,0	39,2	38,0	38,0
II	44,8	37,9	30,0	34,8	44,1	46,4	49,5	50,4	42,4
III	45,2	42,6	46,1	45,2	48,4	43,1	45,2	44,0	45,0
IV	45,1	45,0	47,6	49,6	45,2	48,3	47,0	44,9	46,4
V	38,3	45,8	46,4	42,7	43,6	45,4	47,8	43,0	44,5
VI	40,8	40,4	41,5	43,5	44,3	35,8	36,8	39,1	40,3
VII	43,0	41,1	42,7	40,5	43,7	44,2	44,0	39,5	42,4
VIII	48,5	47,2	48,8	38,2	43,8	47,9	48,3	44,5	45,8
IX	43,1	47,0	49,2	45,8	45,0	41,5	43,5	45,9	45,0
X	43,8	48,3	48,7	48,5	49,6	45,8	45,5	47,5	47,0
XI	45,7	43,2	44,5	42,1	46,1	46,0	43,0	45,4	44,6
XII	41,2	38,8	43,1	40,9	40,6	42,7	40,6	38,5	40,7
XIII	45,8	40,2	42,5	38,8	42,6	42,0	41,3	41,9	41,8
XIV	31,1	27,9	27,9	29,4	31,8	29,6	34,1	31,6	30,3
XV	36,7	34,5	34,9	38,8	37,9	36,6	35,3	37,8	36,4
XVI	46,5	41,3	44,3	39,8	40,6	41,9	44,3	41,4	42,4
XVII	44,3	41,1	39,9	42,5	45,1	40,5	39,1	44,6	42,3
XVIII	34,2	34,5	30,7	25,5	34,2	36,4	36,6	32,7	33,2
XIX	33,9	30,1	28,9	28,3	33,6	30,1	31,1	33,4	31,5

Tab. 1: Veränderungen der Gleichgewichtsregulation in 24 Stunden

Werte der Umschlagspunkte pro Min. von 19 Personen in dreistündigem Abstand gemessen.

M ist der Mittelwert jeder Versuchsperson, der zum besseren Vergleich der Kurven der einzelnen Personen miteinander gleich 100 gesetzt wird.

	19 ⁰⁰	22 ⁰⁰	1 ⁰⁰	4 ⁰⁰	7 ⁰⁰	10 ⁰⁰	13 ⁰⁰	16 ⁰⁰	M
I	18,0	16,8	14,9	15,1	12,8	15,9	21,7	18,0	16,6
II	16,4	13,6	10,8	13,2	17,6	19,5	13,8	14,0	15,0
III	22,7	20,9	21,2	22,5	27,6	23,6	25,5	24,8	23,6
IV	15,2	15,0	17,8	19,4	16,9	20,5	17,5	16,1	17,3
V	14,1	17,8	23,4	20,3	19,5	22,1	20,6	18,0	19,9
VI	17,1	17,0	13,5	18,1	18,5	19,6	11,5	14,1	16,2
VII	14,5	13,5	13,6	11,8	14,7	13,4	14,8	13,8	13,7
VIII	25,3	23,0	25,3	13,7	18,4	24,5	23,2	21,8	21,7
IX	19,4	17,8	20,2	17,2	17,0	16,3	23,3	20,1	18,9
X	20,1	22,2	24,2	21,7	28,5	24,5	24,0	23,8	23,4
XI	16,1	13,9	14,8	13,4	17,7	16,9	16,5	18,1	15,9
XII	16,6	15,5	13,4	16,4	15,1	16,8	15,6	15,1	15,5
XIII	15,2	14,2	14,4	13,0	16,1	17,0	14,5	15,4	14,9
XIV	9,1	7,9	4,3	5,5	8,3	8,6	10,5	7,8	7,8
XV	14,9	9,4	8,4	10,4	10,4	10,0	8,5	10,4	9,6
XVI	22,1	18,5	19,3	16,6	16,4	19,4	19,9	16,4	18,4
XVII	16,0	14,2	12,9	13,4	18,2	13,6	15,3	17,6	15,4
XVIII	3,6	3,6	2,3	2,7	7,4	3,5	2,4	3,1	3,0
XIX	11,5	11,5	9,7	8,3	11,9	9,9	10,4	13,0	10,9

Tab. 2: Veränderungen der Gleichgewichtsregulation in 24 Stunden

Werte der kleinen Zacken pro Min. von 19 Personen in dreistündigem Abstand gemessen.

M ist der Mittelwert jeder Versuchsperson, der zum besseren Vergleich der Kurven der einzelnen Personen miteinander gleich 100 gesetzt wird.

	19 ⁰⁰	22 ⁰⁰	1 ⁰⁰	4 ⁰⁰	7 ⁰⁰	10 ⁰⁰	13 ⁰⁰	16 ⁰⁰	M
I	15,7	16,8	18,8	19,9	17,9	15,8	13,8	18,2	17,1
II	75,1	63,4	57,7	68,9	71,5	57,6	82,2	92,2	71,1
III	110,1	75,6	98,8	90,4	81,4	84,4	106,3	102,5	93,7
IV	9,1	9,5	12,2	10,0	10,3	10,2	9,7	10,6	10,2
V	13,3	12,9	13,8	13,9	14,1	12,6	12,0	10,4	12,9
VI	13,5	14,1	17,3	18,3	11,8	8,8	17,5	13,0	14,3
VII	16,5	19,5	22,1	20,8	19,4	13,0	13,7	14,4	17,4
VIII	6,9	8,4	10,3	9,0	9,7	7,0	8,7	7,6	8,5
IX	11,7	19,0	13,7	19,6	18,9	13,0	13,3	14,7	15,5
X	4,8	4,5	7,5	6,6	3,5	6,1	3,1	3,6	5,0
XI	17,5	14,5	18,9	19,9	21,1	18,8	20,4	17,1	18,5
XII	9,8	13,1	13,3	14,2	14,8	9,7	12,3	14,3	12,7
XIII	10,4	10,7	19,0	14,8	13,1	11,3	13,5	14,5	13,4
XIV	28,9	27,3	32,7	41,0	25,3	28,9	25,0	32,3	30,1
XV	22,3	25,8	25,5	28,3	24,5	20,9	28,3	23,9	24,9
XVI	8,0	8,5	8,6	10,7	11,6	8,6	8,9	8,5	9,2
XVII	12,8	14,8	29,2	28,4	15,4	17,9	18,7	14,6	19,0
XVIII	37,1	31,9	48,5	56,0	30,6	46,0	55,5	50,0	44,5
XIX	22,7	24,1	35,1	37,9	28,3	30,2	28,8	26,1	29,2

Tab. 3: Veränderungen der Gleichgewichtsregulation in 24 Stunden

Werte der Länge pro Min. von 19 Personen in dreistündigem Abstand gemessen.

M ist der Mittelwert jeder Versuchsperson, der zum besseren Vergleich der Kurven der einzelnen Personen miteinander gleich 100 gesetzt wird.

	19 ⁰⁰	22 ⁰⁰	1 ⁰⁰	4 ⁰⁰	7 ⁰⁰	10 ⁰⁰	13 ⁰⁰	16 ⁰⁰
M _U	102,2 + 1,34	96,2 + 1,08	98,2 + 1,96	95,9 + 2,00	102,0 + 1,03	101,4 + 1,22	102,6 + 1,53	101,8 + 1,33
M _Z	104,4 + 3,11	97,8 + 1,97	91,7 + 1,08	90,7 + 2,73	109,3 + 8,01	106,5 + 2,66	103,3 + 3,24	102,4 + 2,08
M _L	89,1 + 3,16	92,9 + 2,78	114,1 + 4,45	117,3 + 3,27	99,3 + 3,83	90,7 + 3,06	98,6 + 3,57	97,2 + 3,30

Tab. 4: Veränderung der Gleichgewichtsregulation in 24 Stunden

Mittelwerte aus allen Werten einer Tageszeit von 19 Personen mit den dazugehörigen mittleren Fehlern; nach Umrechnung.
(Es wurde jeweils der Mittelwert aus allen Werten einer Versuchsperson gleich 100 gesetzt und die übrigen Werte dazu in gleiche Beziehung gebracht.)

M_U = Mittelwerte aller Umschlagspunkte pro Minute

M_Z = Mittelwerte aller kleinen Zacken pro Minute

M_L = Mittelwerte aller Längenwerte pro Minute

	19 ⁰⁰	22 ⁰⁰	1 ⁰⁰	4 ⁰⁰	7 ⁰⁰	10 ⁰⁰	13 ⁰⁰	16 ⁰⁰
L x U	91,0	89,4	112,0	112,7	101,6	92,0	101,2	99,0 x 100
L x Z	93,1	90,8	104,8	106,5	108,8	96,6	102,0	99,6 x 100

Tab. 5: Produkt aus den Längenwerten und den Umschlagspunkten bzw. den kleinen Zacken der gleichen Zeit.

Der Mittelwert für die Werte	L x U ist	99,9 x 100
" " " " "	L x Z ist	100,3 x 100

Wir können also sagen, bei der Gleichgewichtsregulation ist das Produkt aus der Weglänge und den Umschlagspunkten bzw. kleinen Zacken gleicher Tageszeit annähernd konstant (unter unseren Versuchsbedingungen $L \times U = 10\,000$).

IV. Diskussion

Die in unseren Versuchen über die Gleichgewichtsregulation gefundene Häufung der Umschlagspunkte und sog. kleiner Zacken am Tage und ihre Abnahme bei Nacht, ebenso die längeren Ausschläge und der längere Kurvenverlauf bei Nacht lassen auf eine feinere und raschere Regulation des Gleichgewichtes bei Tag schließen. Impulse, die dem Gehirn aus der Körperperipherie zuströmen, werden schneller verarbeitet und durch Impulse beantwortet, die vom Gehirn zur Körperperipherie gehen und dort Muskelkontraktionen auslösen, die den Körper vor dem Umfallen bewahren sollen.

Die 24-Stunden-Rhythmik der Gleichgewichtsregulation fügt sich zwanglos in die Reihe der von JORES angeführten Rhythmen mit ihrem Maximum zwischen 14 Uhr und 20 Uhr und ihrem Minimum zwischen 1 Uhr und 5 Uhr ein und weist damit ebenfalls auf eine zentrale Steuerung hin, die von vielen Autoren in einem wechselseitigen Überwiegen von Sympathikus und Parasympathikus gesehen wird (Literatur bei HESS, MÜLLER und HOFF) (10, 11 und 12).

G. ZUSAMMENFASSUNG

Wir untersuchten bei 19 gesunden Versuchspersonen im Alter von 23 bis 27 Jahren über zweimal 24 Stunden im Abstand von jeweils 3 Stunden Schwankungen in der Gleichgewichtsregulation. Wir fanden eine deutliche 24-Stunden-Rhythmik mit dem feinsten Regulationsvermögen zwischen 7 Uhr und 10 Uhr und dem am geringsten ausgeprägten Regulationsvermögen zwischen 22 Uhr und 4 Uhr. Sie zeigt eine Übereinstimmung mit anderen Tagesrhythmen und kann wie diese auf Schwankungen im Tonus des vegetativen Nervensystems zurückgeführt werden.

Bei der Auswertung der Ergebnisse, die in zwei Richtungen erfolgte, einmal nach der Anzahl der Umschlagpunkte in der Minute und zum anderen nach der Wegstrecke in der Minute, läßt das Produkt aus beiden eine Konstante vermuten.

LITERATURVERZEICHNIS

1. Wacholder, K.: "Die allgemeinen physiologischen Grundlagen der Entstehung von Lebensrhythmen".
Ver. d. 4. Konf. d. intern. Ges. f. biol. Rhythmusf.
Stockholm 1955
2. Klages, L.: "Vom Wesen des Rhythmus".
Verlag Kampmann, Kampen 1933
3. Jores, A.: "Physiologie und Pathologie der 24-Stunden-rhythmik des Menschen".
Erg. d. inn. Med. u. Kinderhk. 48, 547, 1935
4. Jürgensen: "Die Körperwärme des gesunden Menschen".
Leipzig 1873
5. Liebermeister, C.: "Handbuch der Pathologie und Therapie des Fiebers".
Leipzig 1875
6. Völker, N.: "Über die tagesperiodischen Schwankungen einiger Lebensvorgänge des Menschen".
Pflügers Archiv 215, 43, 1927
7. Forsgren, E.: "Die Rhythmik der Leberfunktion und des Stoffwechsels".
Dtsch. med. Wschr. 1, 743, 1938
8. Döring, G.K. u.
Riecke, H.: "Über tagesperiodische Schwankungen der Capillarresistenz".
Klin. Wschr. 30. Jahrg. 45/46, 1098, 1952
9. Döring, G.K. u.
Schaefers, E.: "Über die Tagesrhythmik der Pupillenweite beim Menschen".
Pflügers Archiv 252, 537, 1950
10. Hess, W.R.: "Die Organisation des vegetativen Nervensystems".
Benno Schwabe u. Co., Basel 1948
11. Müller, L.R.: "Lebensnerven und Lebenstriebe".
3. Aufl. Springer, Berlin 1931
12. Hoff, F.: "Klinische Physiologie und Pathologie".
5. Aufl. Thieme Stuttgart, 650, 1957

13. Aschoff, J.: "Exogene und endogene Komponente der 24-Stunden-Periodik bei Tier und Mensch".
Die Naturwissenschaften 42, 569, 1955
14. Menzel, W.: "Zum Wesen der Tagesrhythmik".
Grundriß einer klin. allgem. Rhythmologie.
Ärztl. Wschr. 705, 1947
15. Menzel, W.: "Über den heutigen Stand der Rhythmenlehre in bezug auf die Medizin".
Zeitschr. f. Altersf. 6, 26, 1952
16. De Rudder, B.: "Über sogenannte kosmische Rhythmen beim Menschen".
Thieme Verlag Leipzig 1943
17. Wachsmut, G.: "Die Entwicklung der Erde". Kosmologie und Erdgeschichte - ein organisches Werden.
Dornach Schweiz 1950
18. Rein, H.: "Einführung in die Physiologie des Menschen".
11. Aufl. Springer 459, 1955
19. Mies, H.: "Über die Reizung des Vestibularapparates als Belastungsprobe des Organismus".
Zschr. f. d. ges. inn. Med. 520, 1947
20. Gottschick, J.: "Die Leistungen des Nervensystems".
Jena 208, 1955
21. Handbuch der norm. u. patholog. Physiologie 10, 1927
22. Smith-Fearing, F.: Journ. comp. psychol. 4, 91, 1924
23. Schaare, M.: "Vergleichende Untersuchungen an Frauen über die Lageempfindung im Raum und etwaige Veränderungen derselben im Verlauf des menstruellen Zyklus".
Zschr. f. Gebh. u. Gyn. 97, 235, 1930
24. Staiger, K.: "Über Gleichgewichtsregulation in Abhängigkeit vom Zyklus der Frau".
Diss. Mü. 1960
25. Patau, K.: "Zur statistischen Beurteilung von Messungsreihen".
Biol. Zbl. 63, 152, 1943

NACHWORT

Am Schluß dieser Arbeit möchte ich Herrn Professor Dr. Gerhard Döring sehr herzlich danken, für die Überlassung des Themas und die freundliche Hilfe, die er mir jederzeit gewährte.

Herrn Professor Dr. Werner Bickenbach danke ich für die Übernahme des Korreferates.

Ferner möchte ich dem Physiker der I. Universitäts-Frauenklinik in München, Herrn Hans Eberle, danken für die Unterstützung bei der Auswertung des Versuchsmaterials.

Mein herzlichster Dank gilt auch den 18 Kolleginnen und Kollegen, die sich als Versuchspersonen so aufopfernd zur Verfügung gestellt haben.

L e b e n s l a u f

Als erste Tochter des Dipl. Volkswirts Dr. Gerhard Wiegand und seiner Ehefrau Marthe, geb. Steichen, wurde ich am 23. Januar 1931 in Berlin-Dahlem im Hause meiner Großeltern, des Archäologen Theodor Wiegand und seiner Ehefrau Marie, geb. von Siemens, geboren.

Nach dem Besuch der Volksschule in Magdeburg, Kiel und Wolfsburg (Schlesien) trat ich 1941 in die Königin-Luisenstiftung - Oberschule für Mädchen - in Berlin-Dahlem ein. Weitere Oberschulen besuchte ich in Breslau, Wohlau, Salzgitter-Bad und Salzgitter-Lebenstedt. 1951 legte ich in Salzgitter-Lebenstedt an der dortigen Oberschule für Jungen die Reifeprüfung ab.

Nach zweijähriger Ausbildungszeit an der Bundesforschungsanstalt in Celle legte ich das Staatsexamen als techn. Assistentin ab und arbeitete anschließend ein Jahr an der tierärztlichen Hochschule in München.

Im Mai 1954 konnte ich an der Universität München mit dem Studium der Medizin beginnen. Das zweite vorklinische Semester studierte ich an der Universität Göttingen, die letzten drei an der Universität Kiel. Von den klinischen Semestern studierte ich drei an der Freien Universität Berlin und drei wieder an der Universität München, wo ich im Februar 1960 mein Staatsexamen ablegte.

Bisher war ich als Medizinalassistentin 10 Monate in München am Krankenhaus des III. Ordens beschäftigt und arbeite jetzt seit dem 1. Mai 1961 als Medizinalassistentin am Kinderkrankenhaus in Schwabing.



